

## Abdulkadir GÜLŞEN



abdulkadir.gulsen@agu.edu.tr

0000-0002-4250-2880



Thesis Advisor

## Assoc. Prof. Burcu BAKIR-GÜNGÖR

burcu.gungor@agu.edu.tr

## Detection and classification of flaws from ultrasonic tomography images of composite materials based on deep learning

**abstract** This thesis introduces novel methodologies for enhancing defect classification and characterization in advanced composite materials by leveraging state-of-the-art machine learning (ML), deep learning (DL), and federated learning (FL) techniques within ultrasonic and acoustic emission (AE) inspection environments. First, a new ultrasonic dataset (UNDT), comprising 1,150 images from 60 distinct composite materials, is introduced. Applying transfer learning methods to both the UNDT and a publicly available dataset demonstrates the efficacy of advanced neural architectures—such as DenseNet121 and VGG19—achieving accuracy rates up to 98.8% and 98.6%, respectively. Next, the scope is extended to AE-based health monitoring by introducing an ensemble feature selection methodology to identify features strongly correlated with damage modes. By selecting amplitude and peak frequency for labeling and subsequently applying unsupervised clustering, the analysis confirms that both traditional AE features (e.g., counts and energy) and less commonly employed features (e.g., partial powers) correlate with distinct defect types. Finally, a novel FL framework is introduced to address the scarcity of publicly available, real-world ultrasonic datasets. This decentralized approach preserves data privacy while maintaining performance levels comparable to centralized methods, ensuring scalability and confidentiality in diverse data environments. Overall, these contributions significantly advance the field of NDT, offering robust defect classification and characterization. In doing so, the findings not only improve the accuracy and reliability of material integrity assessments but also lay a durable foundation for more secure, collaborative, and efficient NDT systems.

**keywords** Non-destructive Testing, Defect Classification, Machine Learning, Deep Learning, Federated Learning

**özet** Bu tez, gelişmiş kompozit malzemelerde kusur sınıflandırma ve karakterizasyonunu iyileştirmek amacıyla, ultrasonik ve akustik emisyon muayene ortamlarında en son makine öğrenme, derin öğrenme ve federe öğrenme yaklaşımlarını bir araya getiren yenilikçi yöntemler sunmaktadır. İlk olarak, 60 farklı kompozit malzemeden elde edilen 1150 görüntüden oluşan yeni bir ultrasonik veri seti (UNDT) tanıtılmıştır. Hem UNDT hem de halka açık bir başka veri seti üzerinde uygulanan transfer öğrenimi yöntemleri, DenseNet121 ve VGG19 gibi gelişmiş sinir ağı mimarilerinin %98,8 ve %98,6'ya varan doğruluk oranlarıyla etkinliğini kanıtlamaktadır. Bunu takiben, tezin kapsamı akustik emisyon tabanlı yapısal sağlık izleme alanına genişletilerek, hasar modlarıyla güçlü ilişkisi bulunan özellikleri belirlemek amacıyla topluluk temelli bir özellik seçimi metodolojisi sunulmuştur. Genlik ve tepe frekansı etiketleme için seçilmiş, ardından uygulanan denetimsiz kümeleme analizleri, hem geleneksel akustik emisyon özelliklerinin (ör. sayılar ve enerji) hem de daha az kullanılan kısmi güçler gibi özelliklerin farklı kusur tipleriyle güvenilir biçimde ilişkili olduğunu göstermiştir. Son olarak, gerçek dünyaya uygun, halka açık ultrasonik veri setlerinin sınırlılığını gidermek amacıyla yenilikçi bir federe öğrenme yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu dağıtık yaklaşım, merkezi yöntemlere kıyasla benzer performans seviyelerini korurken veri mahremiyetini de güvence altına alarak ölçeklenebilir ve gizliliğe duyarlı bir çözüm sunmaktadır. Genel olarak, bu katkılar tahribatsız muayene alanında önemli ilerlemeler sağlamakta, kusur sınıflandırma ve karakterizasyonunun doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. Böylece, daha güvenli, işbirlikçi ve verimli tahribatsız muayene sistemlerinin geliştirilmesi için kalıcı ve sağlam bir temel oluşturulmaktadır.

**anahtar kelime** Tahribatsız Muayene, Kusur Sınıflandırma, Makine Öğrenme, Derin Öğrenme, Federe Öğrenme